



ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ

บทความที่ วศข.52/01

โอกาสในการพิบัติของเขื่อนศรีนครินทร์

โดย

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์
นายมนตรี จินากุลวิวัฒน์

พฤศจิกายน 2552

คำนำ

เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดประโยชน์ด้านงานวิศวกรรมปฐพีทั้งงานสำรวจ ออกแบบ ก่อสร้าง และใช้งานตามแต่วัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ขอให้ผู้ใช้เอกสารฉบับนี้กรุณาอ้างอิงดังต่อไปนี้

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และมนตรี จินากุลวิวัฒน์, 2552. “โอกาสในการพิบัติของเขื่อนศรีนครินทร์”. บทความวิศวกรรมเขื่อน เลขที่ วศข.52/01. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



โอกาสในการพิบัติของเขื่อนศรีนครินทร์

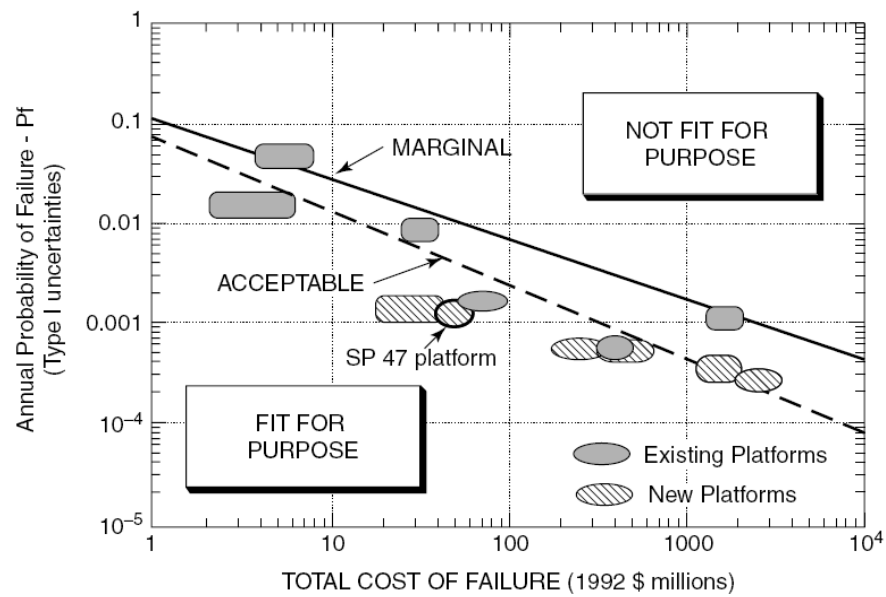
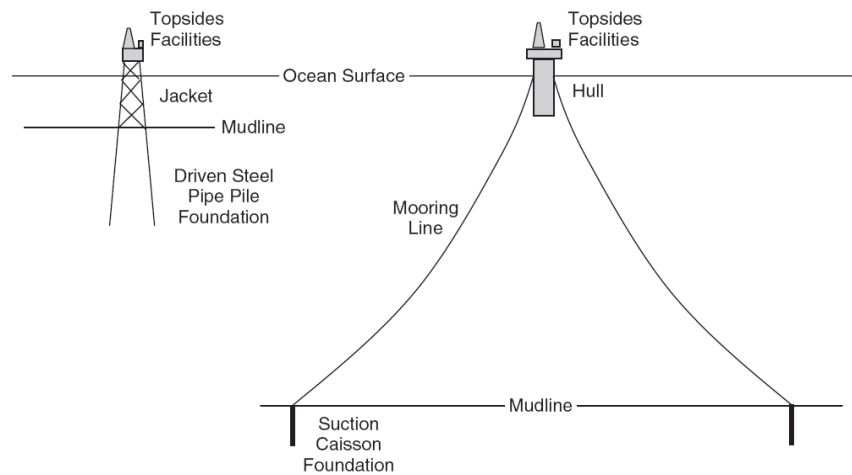
เขื่อนเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ได้รับการออกแบบเพื่อป้องกันการพิบัติในรูปแบบต่าง ๆ สุทธิศักดิ์ (2552) กล่าวว่า การพิบัติของเขื่อนเมื่อพิจารณาตามข้อมูลทางสถิติพบว่าเกิดขึ้นกับเขื่อนที่มีอายุการใช้งานน้อยหรือเพิ่งเริ่มใช้งานมากกว่าเขื่อนที่มีอายุการใช้งานมานาน นอกจากนี้ข้อมูลจาก Hunter (1999) และอีกหลายแหล่งข้อมูลให้ข้อมูลตรงกันว่า สาเหตุที่ทำให้เขื่อนพิบัตินั้นส่วนใหญ่เกิดจากการไหลล้นข้ามสันเขื่อนและการเกิด Piping ในขณะที่สาเหตุจากแผ่นดินไหวมีน้อยมาก (ประมาณ 1%)

สำหรับเขื่อนศรีนครินทร์ซึ่งเป็นเขื่อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยหากเกิดการพิบัติจะนำความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อประชากรในพื้นที่ท้ายน้ำและอาจส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอย่างมีต้องสงสัย อย่างไรก็ตามในโลกของความเป็นจริง การพิจารณาเฉพาะผลกระทบที่เกิดโดยไม่พิจารณาโอกาสในการเกิดย่อมเป็นการพิจารณาที่ไม่เป็นธรรม ความเสียหายในบางกรณีหากมีโอกาสของการเกิดความเสียหายสูงแต่มีผลกระทบต่ำ การให้ความสำคัญในการลดความเสี่ยงมากเกินไปจนอาจจะไม่เหมาะสม ในขณะที่หากโอกาสของการเกิดความเสียหายสูงและจะส่งผลกระทบสูงมาก กรณีนี้เราจะต้องจำเป็นในการเอาใจใส่เพื่อลดความเสี่ยงลงให้มากที่สุด

สำหรับเขื่อนขนาดใหญ่เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่มีโอกาสสร้างผลกระทบได้สูงมาก หากเกิดการพิบัติ แต่ขณะเดียวกันเนื่องจากการระมัดระวังในการสำรวจ ออกแบบ ก่อสร้างและบำรุงรักษาเป็นอย่างดี โอกาสในการพิบัติจึงต่ำถึงต่ำมาก ในกรณีเช่นนี้การใส่ใจในการบำรุงรักษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยอยู่เสมอจึงเป็นสิ่งสำคัญ

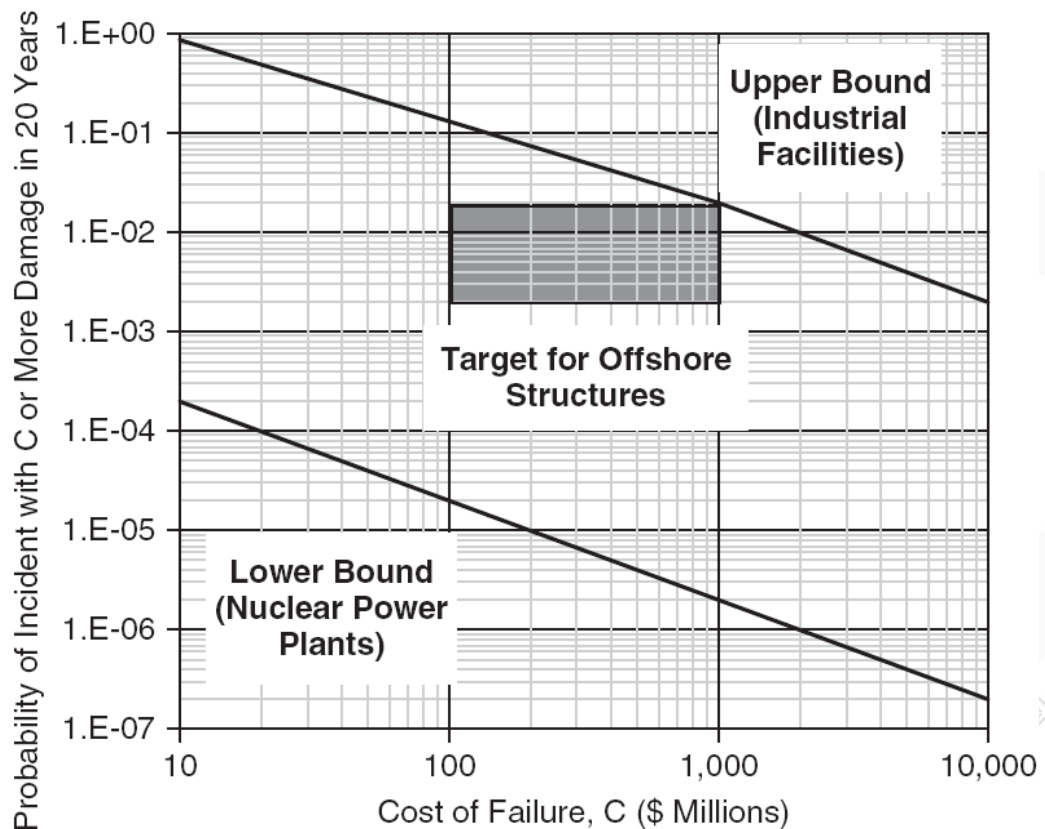
เพื่อให้ทราบอย่างแน่ชัดว่าโอกาสในการพิบัติของเขื่อนศรีนครินทร์อยู่ในระดับใด การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจึงได้ให้ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดำเนินการวิเคราะห์ความปลอดภัยของเขื่อนศรีนครินทร์ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเกิดแผ่นดินไหว ผลการศึกษาพบว่าโอกาสในการพิบัติของเขื่อนในรูปแบบการไหลตัวของลาดชันเมื่อเก็บน้ำอยู่ในระดับเก็บกักปกติ มีค่าเท่ากับ 4.05×10^{-6} หรือ 1 ใน 250,000 โดยประมาณ สำหรับในกรณีเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหากระดับน้ำอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติ โอกาสที่เขื่อนจะยุบตัวเนื่องจากแรงกระทำแผ่นดินไหวและทำให้ระดับสันเขื่อนต่ำกว่าระดับน้ำกักเก็บอันอาจนำมาสู่การพิบัติของเขื่อน โอกาสการพิบัติในกรณีดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 5.83×10^{-9} หรือ 1 ใน 167 ล้านโดยประมาณ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งจากรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน SNR ต่อแรงกระทำแผ่นดินไหว ดังแสดงในภาคผนวก

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับการยอมรับโอกาสการพิบัติและผลกระทบของโครงสร้างทางวิศวกรรมประเภทอื่น เช่น โครงสร้างในทะเล ดังแสดงในรูปที่ 1 จะพบว่า กรณีของเขื่อนศรีนครินทร์มีความเสี่ยงต่ำกว่ามาก นอกจากนี้รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงของเขื่อนศรีนครินทร์จะอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และต่ำกว่าโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปอย่างมาก



รูปที่ 1 ความเสี่ยงการพิบัติของโครงสร้างในทะเล

ที่มา : Bea, R.G. 1998, 'Oceanographic and reliability characteristics of a platform in the Mississippi River Delta,' *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 8, pp. 779-786, reproduced by permission of the American Society of Civil Engineers*).



รูปที่ 2 ความเสี่ยงของโครงสร้างทางอุตสาหกรรม

เพื่อให้เห็นภาพที่ง่ายขึ้นหากเปรียบเทียบโอกาสการพิบัติของเขื่อนครินครินทร์กับความเสียหายที่เกิดอุบัติเหตุจากสถานการณ์ต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเราเช่น

การเดินทางโดยรถยนต์	มีโอกาส	1 ใน 14,000
จักรยาน	มีโอกาส	1 ใน 88,000
พายุทอร์นาโด	มีโอกาส	1 ใน 450,000
รถไฟ	มีโอกาส	1 ใน 1 ล้าน
ฟ้าผ่า	มีโอกาส	1 ใน 1.9 ล้าน
เครื่องบินโดยสาร	มีโอกาส	1 ใน 7 ล้าน

ที่มา : Federal Aviation Administration (FAA), United States Department of Transportation และ International Civil Aviation Organization (ICAO)

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดว่าโอกาสการพิบัติของเขื่อนครินครินทร์เนื่องจากเหตุแผ่นดินไหวในลักษณะที่ได้กล่าวไปจะมีค่าที่ต่ำกว่าการเกิดเครื่องบินตกเสียอีก ในขณะที่การพิบัติในสภาวะปกติจะใกล้เคียงกับโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุจากพายุทอร์นาโด ทั้งนี้ข้อมูลเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารอ้างอิง

- Chugh, A.K. 1980. User information manual: Dynamic slope stability displacement program DISP. U.S. Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center, Denver, Colorado.
- Geo-Slope International Ltd. 2004. "Dynamic Modeling With QUAKE/W, Newmark Deformation Analysis" An Engineering Methodology First Edition, May 2004.
- Makdisi, F.I. and Seed, H.B. 1978. Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 104, No. GT7, pp. 849-867.
- Newmark, N. 1965. Effect of earthquake on dams and embankments. Geotechnique, Vol. 15, No. 2, pp. 139-160.
- Seed HB, Idriss IM., 1970. Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis, Earthquake Engineering. Research Center, Report No. EERC 70-10
- Snowy Mountains Engineer Corporation, 1984. Dynamic Analysis of Khao Laem Dam. Electricity Generating Authority of Thailand, September, 1984.
- Soralump, S. 2002. Estimating probability of earthquake-induced failure of earth dams. Ph.D. dissertation, Civil and Environmental Engineering, Utah State University, UMI No. 3083222.
- Yonezawa, T., Uemura, Y. and Ohmoto, I. 1987. An analysis of the dynamic behavior of a rockfill dam during earthquake with wave of high frequency. International symposium on earthquakes and dams, Beijing, China, May 20, 1987, Vol. 1, pp. 324-338.
- Bea, R.G. 1998, 'Oceanographic and reliability characteristics of a platform in the Mississippi River Delta,' Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 8, pp. 779-786, reproduced by permission of the American Society of Civil Engineers).

ภาคผนวก

บทที่ 10

การวิเคราะห์ความแปรปรวนและความน่าจะเป็น

โครงการ วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน SNR
ต่อแรงกระทำจากแผ่นดินไหว

บทที่ 10

การวิเคราะห์ความแปรปรวนและความน่าจะเป็น

10.1 บทนำ

ความแปรปรวนของข้อมูลนำเข้า (Input) ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ สามารถส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่สำคัญอันได้แก่ อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันและการทรุดตัวของสันเขื่อน อย่างไรก็ตามหากเราทราบลักษณะความแปรปรวนของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ เราจะสามารถคาดการณ์ลักษณะความแปรปรวนของผลลัพธ์ได้ และจะได้นำไปสู่การพิจารณาความน่าจะเป็นต่อการพิบัติในที่สุด

10.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะความแปรปรวนของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์
2. วิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันและค่าการทรุดตัวของสันเขื่อนจากแรงกระทำของแผ่นดินไหว

10.3 ความแปรปรวนของคุณสมบัติวัสดุ

การดำเนินงานในการตรวจสอบความแปรปรวนของวัสดุที่มีผลต่อการวิเคราะห์การตอบสนองของเขื่อน SNR ประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ

1. การดำเนินงานหาความแปรปรวนของวัสดุโดยอาศัยข้อมูลจากรายงานฉบับสมบูรณ์ในการก่อสร้างเขื่อนและข้อมูลจากผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. การตรวจสอบลักษณะความแปรปรวนของวัสดุต่อการวิเคราะห์การตอบสนองของเขื่อนในแบบจำลองความมั่นคงของลาดชันและการทรุดตัวจากแรงพลศาสตร์

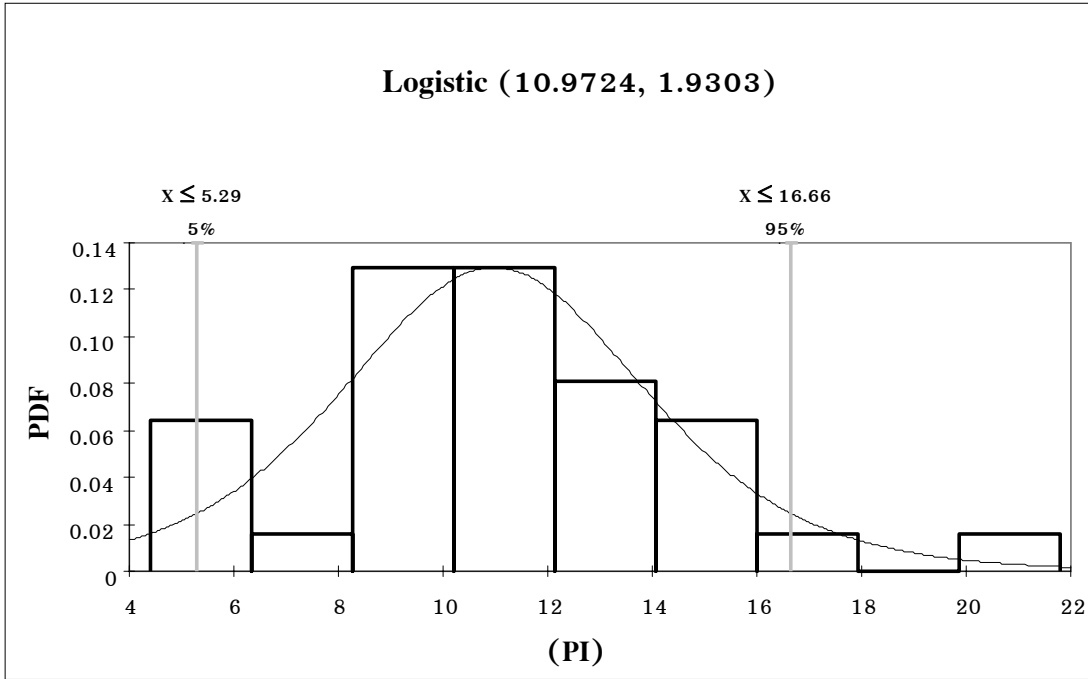
ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของวัสดุประกอบไปด้วยการตรวจสอบวัสดุจากบ่อยืมดิน การตรวจสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รายละเอียดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 10-1 และ 10-2 และรูปที่ 10-1 ถึง 10-7

ตารางที่ 10-1 ความแปรปรวนของค่า Plasticity Index, Optimum Water Content และ
Maximum Dry Density ของบ่อขี้มดิน

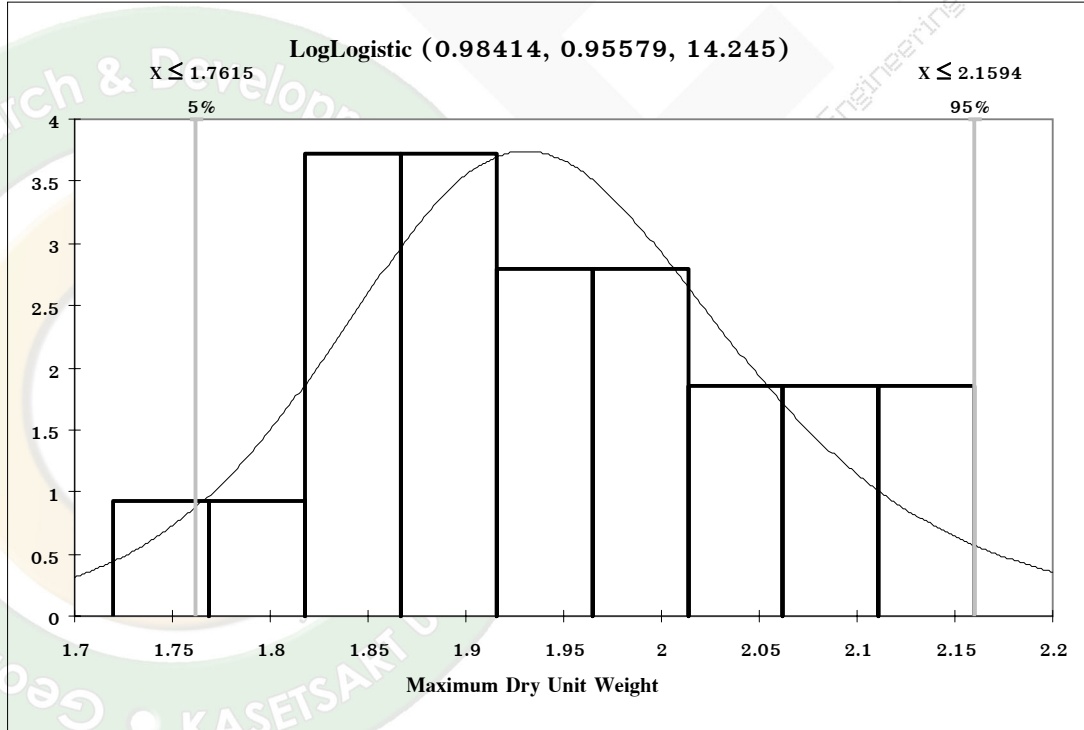
	Plasticity Index	Maximum Dry Unit Weight	Optimum Water Content	Specific Gravity
รูปแบบการกระจายตัว ที่เหมาะสมตาม Chi- Square Test	Logistic (10.97, 1.93)	LogLogistic (0.98, 0.96, 14.25)	Gamma (31.36, 0.43) Shift=-2.11	Logistic (2.67, 0.02)
α พารามิเตอร์ของ รูปแบบการกระจายตัว	10.97	14.25	31.36	2.67
β พารามิเตอร์ของ รูปแบบการกระจายตัว	1.93	0.956	0.43	0.024
γ พารามิเตอร์ของ รูปแบบการกระจายตัว	ไม่มี	0.984	ไม่มี	ไม่มี
ค่า Minimum ของ ข้อมูล	4.4	1.72	7.00	2.56
ค่า Maximum ของ ข้อมูล	21.80	2.16	17.5	2.72
ค่า Mean ของข้อมูล	11.09	1.95	11.44	2.67
ค่า Mode ของข้อมูล	9.60	1.83	12.50	2.69
ค่า Median ของข้อมูล	10.93	1.94	11.25	2.68
ค่า Standard Deviation ของข้อมูล	3.62	0.12	2.47	0.05
ค่า Variance ของ ข้อมูล	12.67	0.01	5.84	0.00
ค่า Skewness ของ ข้อมูล	0.57	0.14	0.33	-1.24
ค่า Kurtosis ของข้อมูล	4.05	2.33	3.14	3.36

ตารางที่ 10-2 ลักษณะความแปรปรวนของคุณสมบัติดินที่ทดสอบจากห้องปฏิบัติการ
ปฐพีกลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

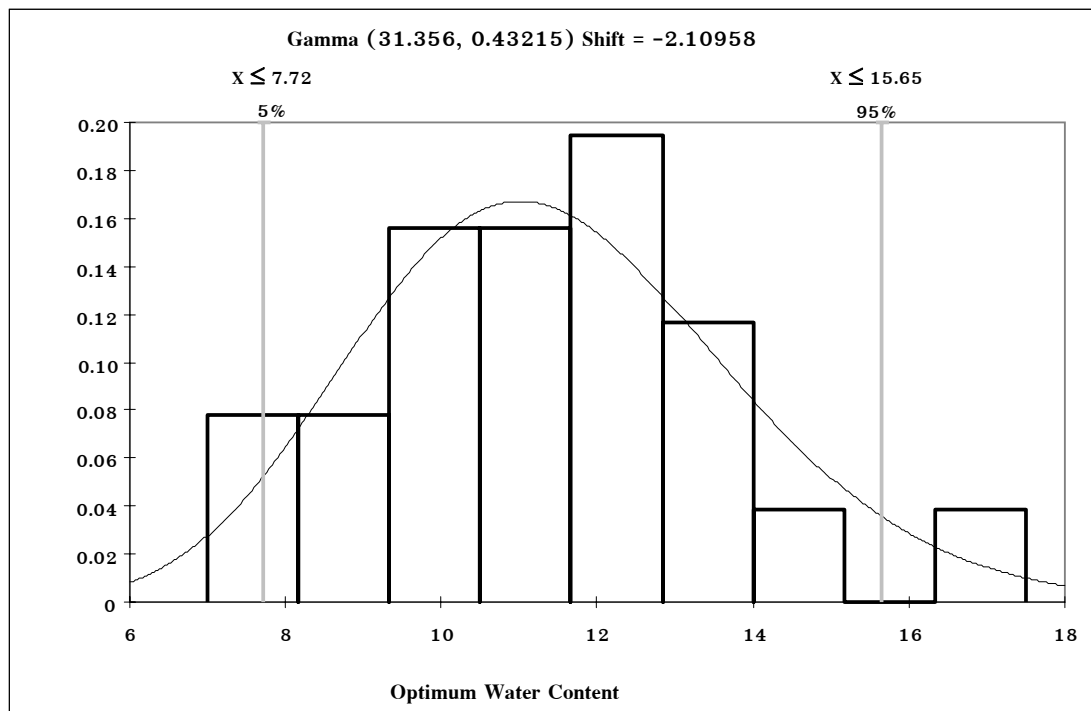
	Permeability (k, m/sec.)	PI (Casagrande's)	PI (Fall Cone)
รูปแบบการกระจายตัวที่ เหมาะสมตาม Chi-Square Test	Pearson5(1.88, 1.80×10^{-5} , Shift(-2.43×10^{-6}))	ExtValue(8.72, 1.61)	Logistic(8.95, 0.88)
α พารามิเตอร์ของรูปแบบการ กระจายตัว	1.88	ไม่มี	8.95
β พารามิเตอร์ของรูปแบบ การกระจายตัว	1.80×10^{-5}	ไม่มี	0.88
γ พารามิเตอร์ของรูปแบบการ กระจายตัว	ไม่มี	ไม่มี	9.94
a พารามิเตอร์ของรูปแบบการ กระจายตัว	ไม่มี	8.72	ไม่มี
b พารามิเตอร์ของรูปแบบการ กระจายตัว	ไม่มี	1.61	ไม่มี
ค่า Minimum ของข้อมูล	1.00×10^{-6}	6.69	13.00
ค่า Maximum ของข้อมูล	9.66×10^{-5}	12.77	19.17
ค่า Mean ของข้อมูล	1.70×10^{-5}	8.93	15.86
ค่า Mode ของข้อมูล	1.00×10^{-6}	9.56	15.59
ค่า Median ของข้อมูล	8.29×10^{-6}	8.95	15.60
ค่า Standard Deviation ของ ข้อมูล	2.23×10^{-5}	1.56	1.47
ค่า Variance ของข้อมูล	4.88×10^{-10}	2.32	2.05
ค่า Skewness ของข้อมูล	2.0529	0.52	0.51
ค่า Kurtosis ของข้อมูล	5.9943	2.73	2.97



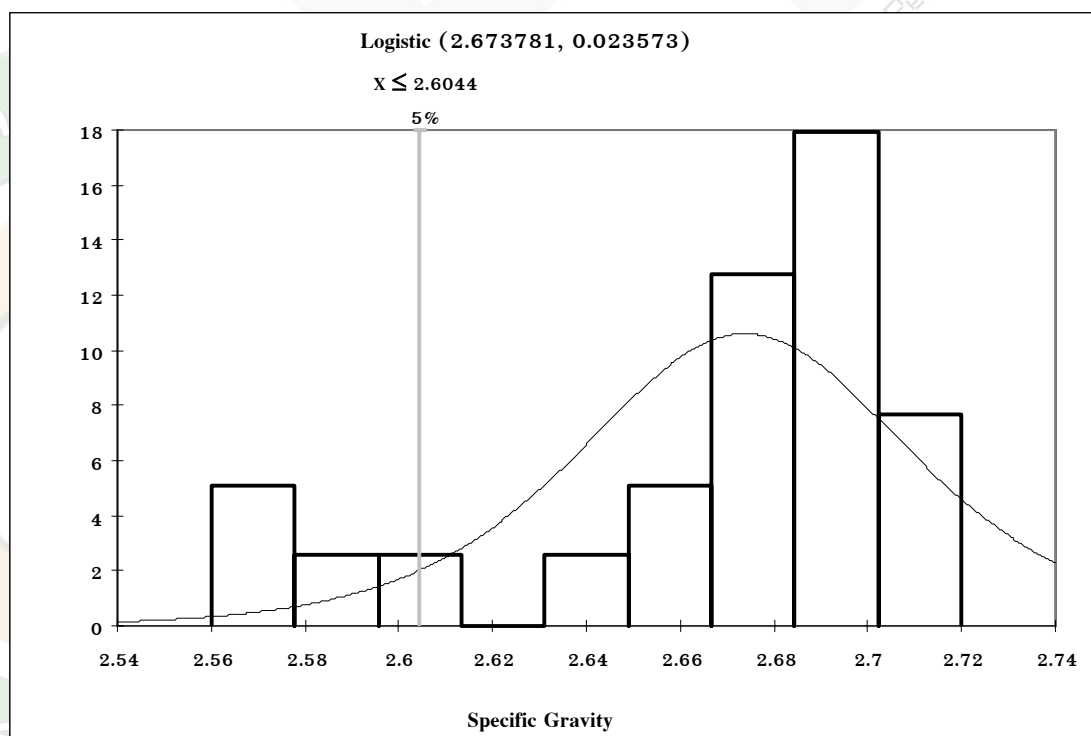
รูปที่ 10-1 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า Plasticity Index
ของวัสดุจากบ่อขี้มดิน



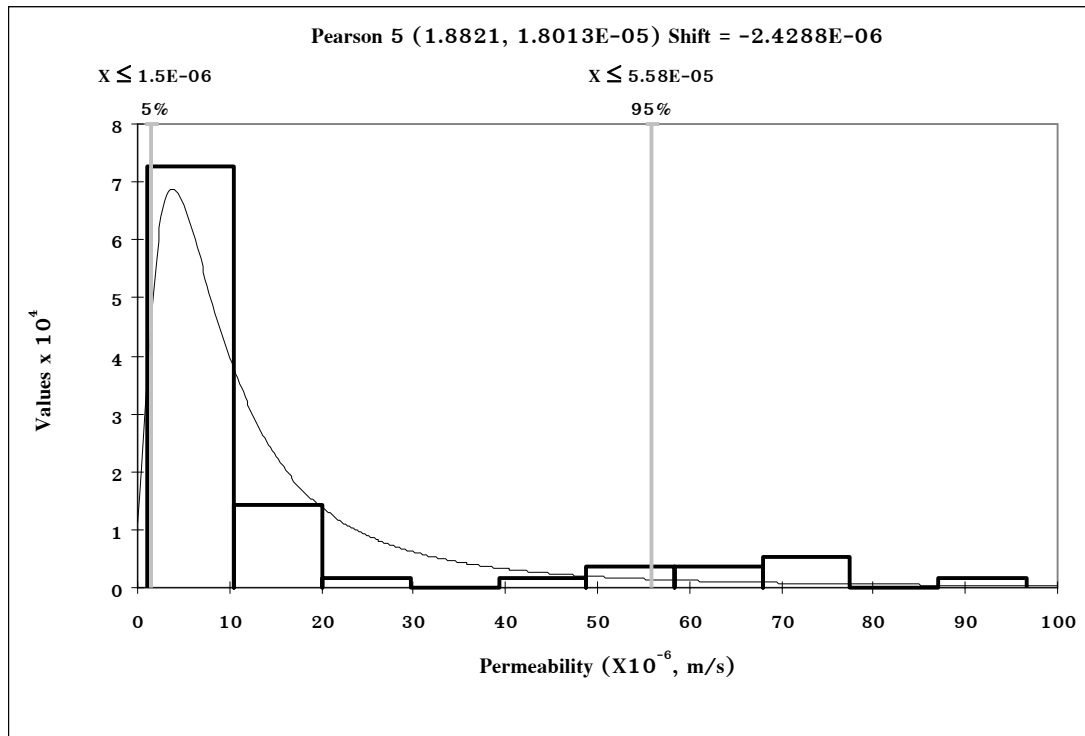
รูปที่ 10-2 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า Maximum Dry Density
ของวัสดุจากบ่อขี้มดิน



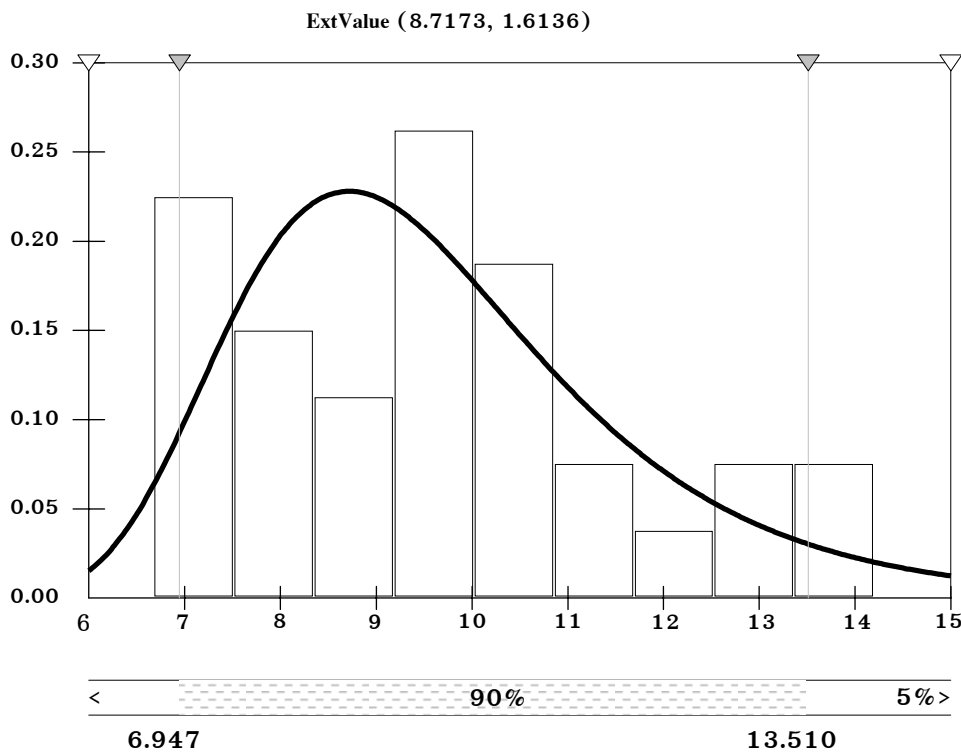
รูปที่ 10-3 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวของค่า Optimum Water Content ของวัสดุจากบ่อยืมดิน



รูปที่ 10-4 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวของค่า Specific Gravity ของวัสดุจากบ่อยืมดิน

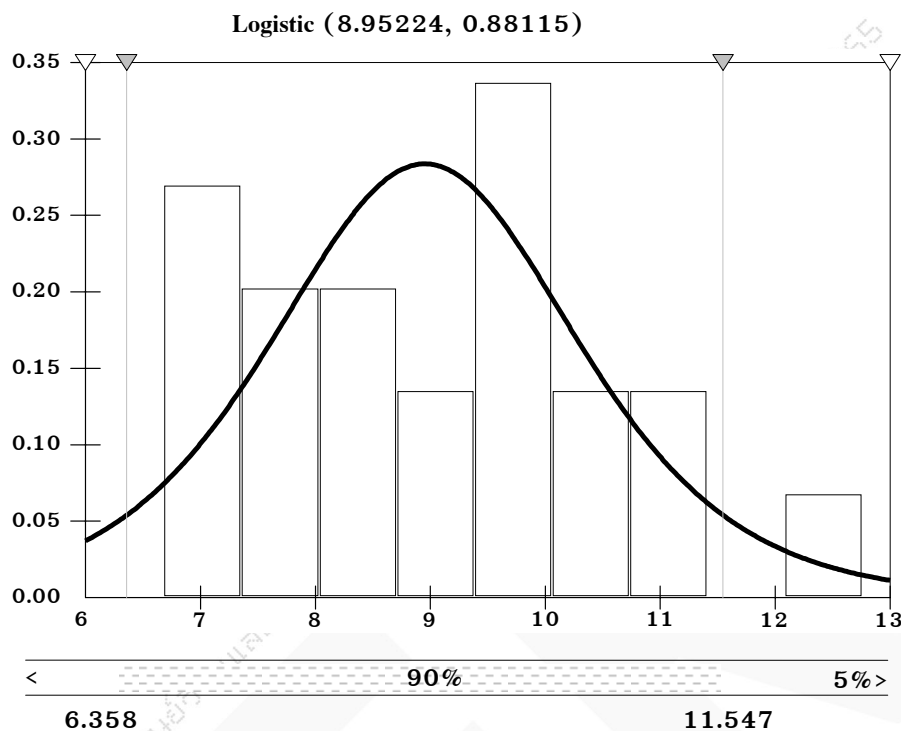


รูปที่ 10-5 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า Permeability ของแกนดินเหนียว



รูปที่ 10-6 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า PI

จากวิธี Casagrand's ของแกนดินเหนียว



รูปที่ 10-7 ลักษณะรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า PI จากวิธี Fall Cone
ของแกนดินเหนียวที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การดำเนินการหารูปแบบการกระจายตัวของตัวแปรต่างๆ สามารถตรวจสอบความเหมาะสมของการหารูปแบบการกระจายตัวได้โดยใช้ค่า P-value ถ้า P-value มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ารูปแบบการกระจายตัวที่ได้มีความเหมาะสมสามารถแทนลักษณะของข้อมูลดิบได้ ถ้า P-value มีค่าน้อย แสดงว่ารูปแบบการกระจายตัวไม่เหมาะสมดังรายละเอียดในตารางที่ 10-3

ตารางที่ 10-3 สรุปความเหมาะสมในการหารูปแบบการกระจายตัว

พารามิเตอร์	P-value	หมายเหตุ
PI(บ่อยืมดิน)	0.9868	พบรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสม
Maximum Dry Density (บ่อยืมดิน)	0.9805	พบรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสม
Optimum Water Content (บ่อยืมดิน)	0.9805	พบรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสม
Specific Gravity(บ่อยืมดิน)	0.1529	ไม่สามารถหารูปแบบการกระจายตัวได้
Permeability (k, m/sec.)	3.7320E-05	ไม่สามารถหารูปแบบการกระจายตัวได้
PI(Casagrande's)	0.8825	พบรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสม
PI(Fall Cone)	0.8232	พบรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสม

ส่วนการตรวจสอบลักษณะความแปรปรวนของตัวแปรในแบบจำลอง มีรายละเอียดดัง
ตารางที่ 10-4

ตารางที่ 10-4 รายละเอียดตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ และผลลัพธ์ในแบบจำลอง

การวิเคราะห์	Input	Output	แบบจำลอง
การวิเคราะห์หาความดัน น้ำในตัวเขื่อน (Pore Water Pressure)	Permeability,k	Pore Water Pressure	การวิเคราะห์ Seepage Analysis
	Permeability Ratio	Pore Water Pressure	การวิเคราะห์ Seepage Analysis
	Permeability Direction	Pore Water Pressure	การวิเคราะห์ Seepage Analysis
การวิเคราะห์หาความเค้น เริ่มต้น (Initial Stress)	Young Modulus (E)	Initial Stress	Linear Elastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ consolidation
	Poisson's Ratio (μ)	Initial Stress	Linear Elastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ consolidation
	Young Modulus (E)	Initial Stress	Elastic Plastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ Load- Deformation
	Cohesion	Initial Stress	Elastic Plastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ Load- Deformation
การวิเคราะห์หาความเค้น เริ่มต้น(Initial Stress)	Phi B	Initial Stress	Elastic Plastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ Load- Deformation
	Poisson's Ratio	Initial Stress	Elastic Plastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ Load- Deformation
	Phi	Initial Stress	Elastic Plastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ Load- Deformation
	Dilation Angle	Initial Stress	Elastic Plastic Model ในการ วิเคราะห์แบบ Load- Deformation

ตารางที่ 10-4 (ต่อ) รายละเอียดตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ และผลลัพธ์ในแบบจำลอง

การวิเคราะห์	Input	Output	แบบจำลอง
การวิเคราะห์หาพฤติกรรมตอบสนองของเขื่อนแบบพลศาสตร์ (Dynamic Response)	Damping Ratio	- Acceleration - Stress	Dynamic Model
	n (Exponential)	- Acceleration - Stress	Dynamic Model
	Poisson' s Ratio	- Acceleration - Stress	Dynamic Model
	K(G Modulus)	- Acceleration - Stress	Dynamic Model
	G/G _{max} Reduction Curve	- Acceleration - Stress	Dynamic Model
	Damping Reduction Curve	- Acceleration - Stress	Dynamic Model
การวิเคราะห์ Seismic Deformation โดยวิธีของ Newmark's	Unit Weight	- Newmark's Deformations - Average acceleration - Yield Acceleration	Stability และ Dynamic Model
	Cohesion	- Newmark's Deformations - Average acceleration - Yield Acceleration	Stability และ Dynamic Model
	Friction Angle	- Newmark's Deformations - Average acceleration - Yield Acceleration	Stability และ Dynamic Model

10.4 ความอ่อนไหวของตัวแปรต่อผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ได้กระทำกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองการตอบสนองทางพลศาสตร์ของเขื่อนโดยใช้แบบจำลอง Linear Equivalent และ Mohr's Coulomb ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ ค่า Damping ratio, ค่า n , ค่า Poisson's ratio, G_{max} , ค่าหน่วยน้ำหนัก, ค่ามุมของแรงเสียดทาน และ ค่า Cohesions.

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้กระทำโดยเลือกค่าตัวแปรที่ประกอบไปด้วย ค่าต่ำสุดที่คาดว่าจะน่าจะเป็น ค่าสูงสุดที่คาดว่าจะน่าจะเป็น, ค่าเฉลี่ย และ ค่าที่จะนำไปใช้ โดยค่าต่างๆ ที่นำมาวิเคราะห์มีรายละเอียดดังตารางที่ 10-5

ตารางที่ 10-5 รายละเอียดตัวแปรที่ใช้ในการตรวจสอบความอ่อนไหว

ค่าตัวแปรของคุณสมบัติดิน	ค่าที่นำไปใช้
Damping Ratio	0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, และ 0.7
Exponential (n)	0.5, 0.1, 2 และ 3
Poisson's ratio	0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, และ 0.45
G_{max}	100, 1000, 10000, 100000, 1e6, 1e7 และ 1e8

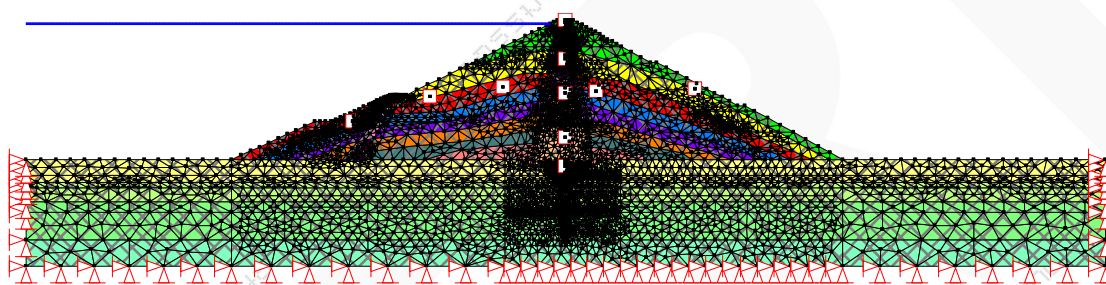
พฤติกรรมการตอบสนองของเขื่อนที่ตรวจสอบได้แก่

1. Displacement ในแนวแกน X
2. Displacement ในแนวแกน Y
3. Velocity ในแนวแกน X
4. Velocity ในแนวแกน Y
5. Acceleration ในแนวแกน X
6. Acceleration ในแนวแกน Y
7. Deformation
8. Average Velocity
9. Average Acceleration
10. Yield Acceleration
11. Factor of Safety

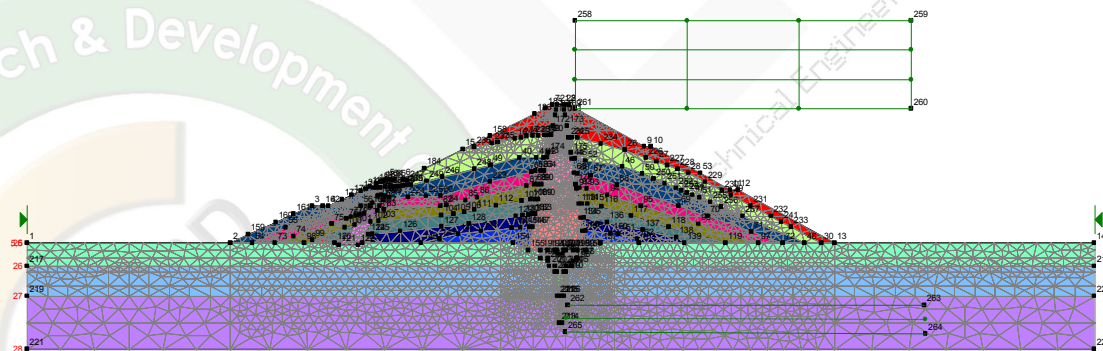
แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวประกอบไปด้วยแบบจำลองการตอบสนองของแรงพลศาสตร์โดยวิธี Linear Equivalent วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Quake/W และแบบจำลองการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชัน วิเคราะห์โดยโปรแกรม Slope/W ซึ่งในแต่ละโปรแกรมต้องการข้อมูลดังนี้คือ โปรแกรม Quake/W ต้องการข้อมูล ค่า Damping ratio, ค่า n , ค่า Poisson's

ratio, และ ค่าโมดูลัสแรงเฉือนสูงสุด ส่วนโปรแกรม Slope/W ต้องการ ค่าหน่วยน้ำหนัก, ค่ามุมของแรงเสียดทาน และ ค่า Cohesions.

Finite Element Model ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วยการแบ่งตัวเขื่อนออกเป็น ส่วนตามคุณสมบัติของวัสดุ นำข้อมูลจากการทดสอบในสนาม และข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในเอกสารงานวิจัย อื่น ๆ มาประกอบการพิจารณาโดยเลือกช่วงค่าของตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง ค่าที่พิจารณาดังกล่าว แสดงในตารางที่ 10-5 และรายละเอียดดังรูปที่ 10-8 และ 10-9

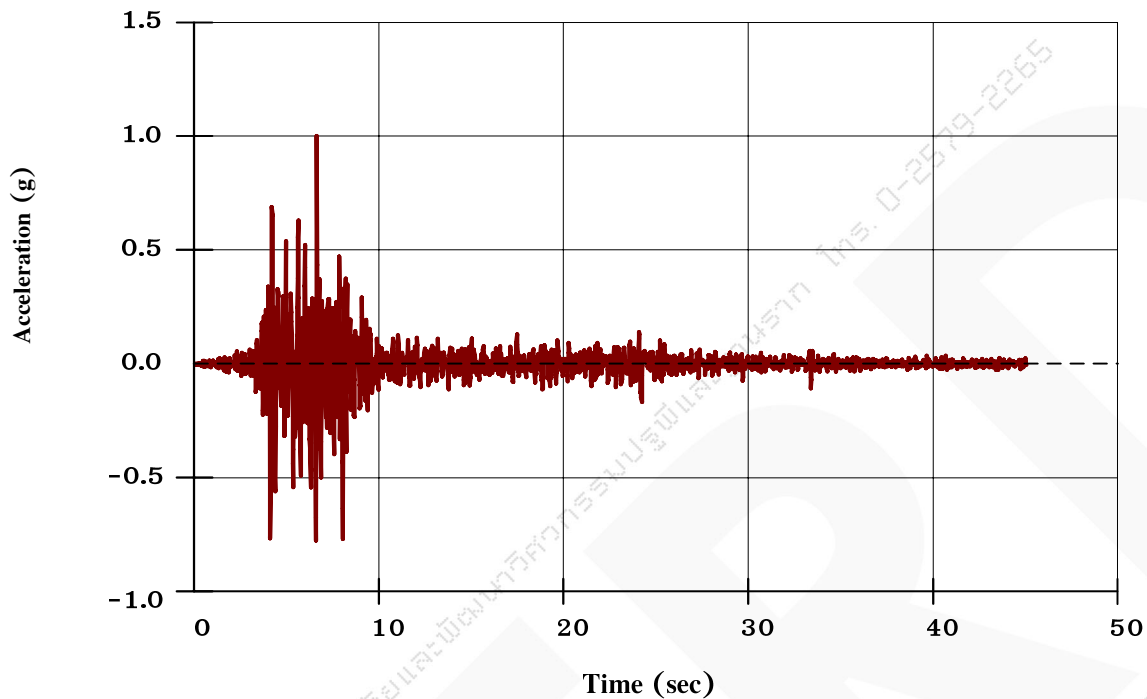


รูปที่ 10-8 แบบจำลองในการวิเคราะห์ความไวในโปรแกรม Quake/W



รูปที่ 10-9 แบบจำลองในการวิเคราะห์ความไวในโปรแกรม Slope/W

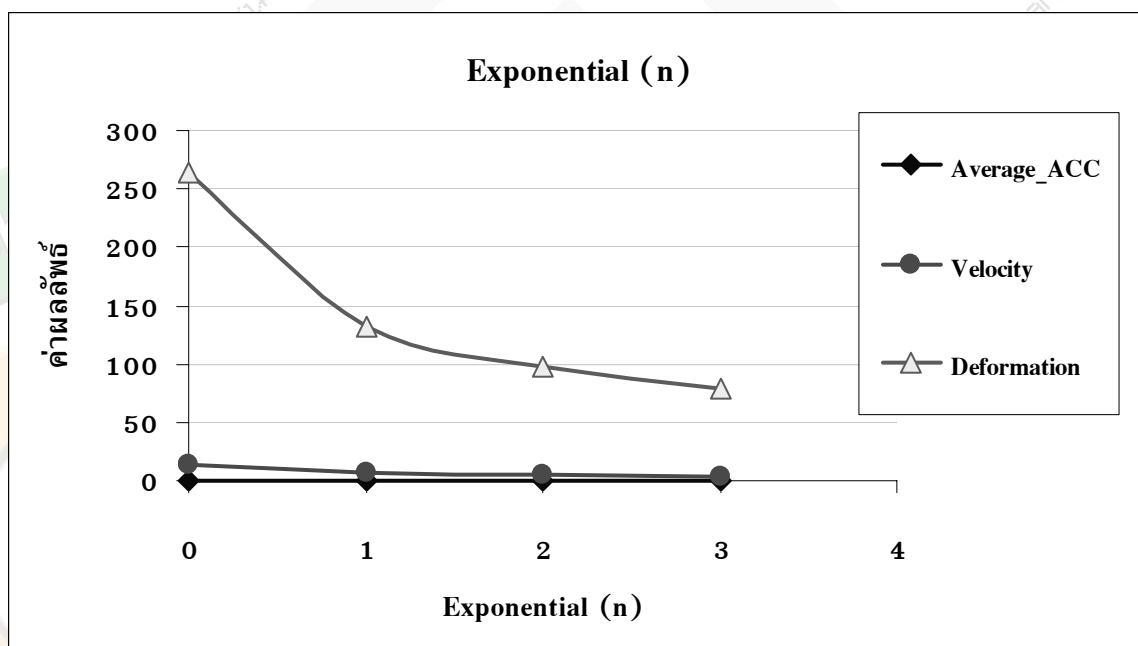
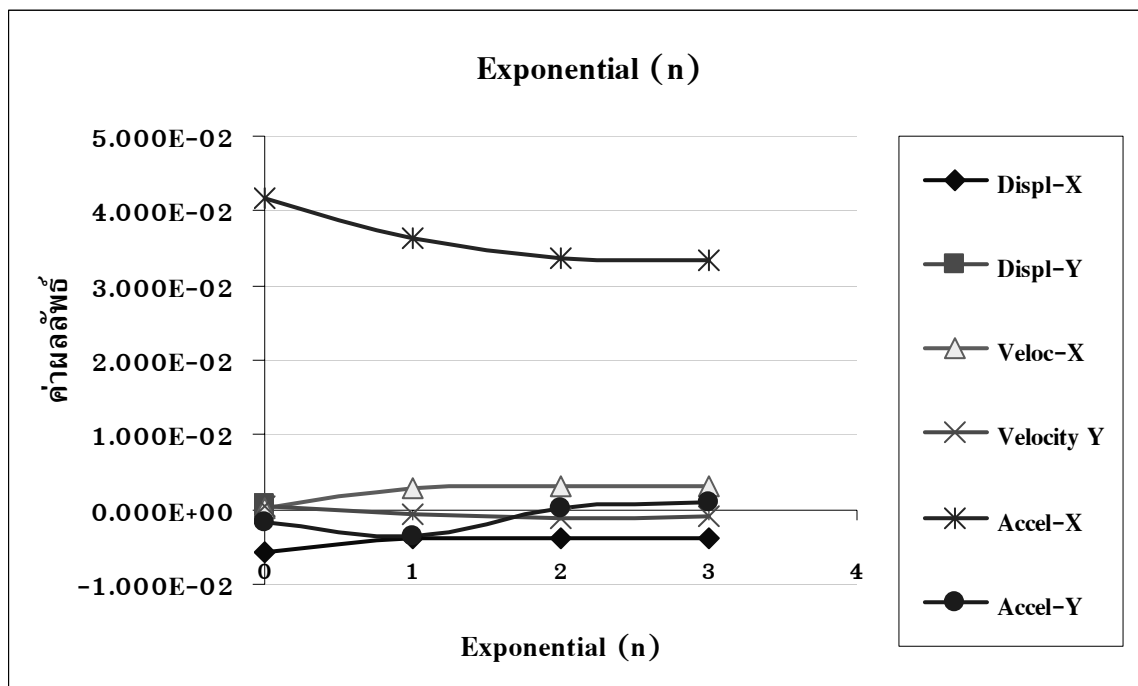
การวิเคราะห์ใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ประเทศจีน ชื่อ Jiashi Earthquake ในวันที่ 5 เมษายน 2540 ซึ่งมี MS=6.4, PGA = 0.273 g, Peak Time = 6.64 วินาที และมี Duration = 45.02 วินาที การวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้ตัดแปลงขนาดของ PGA ให้ได้เท่ากับ 1.0 g ดังแสดงในรูปที่ 10-10



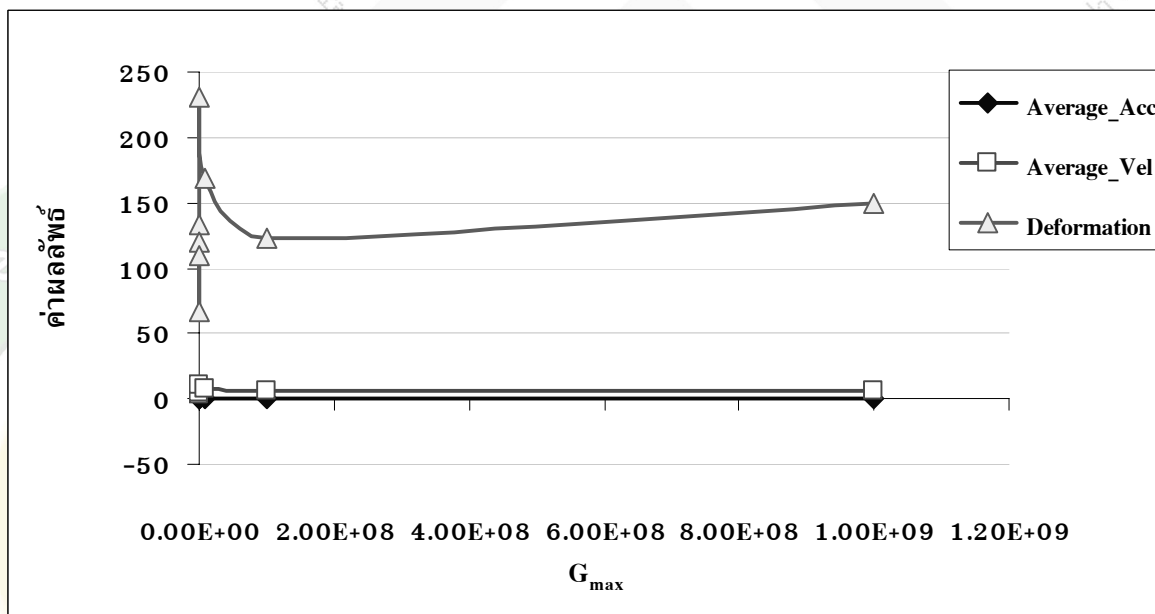
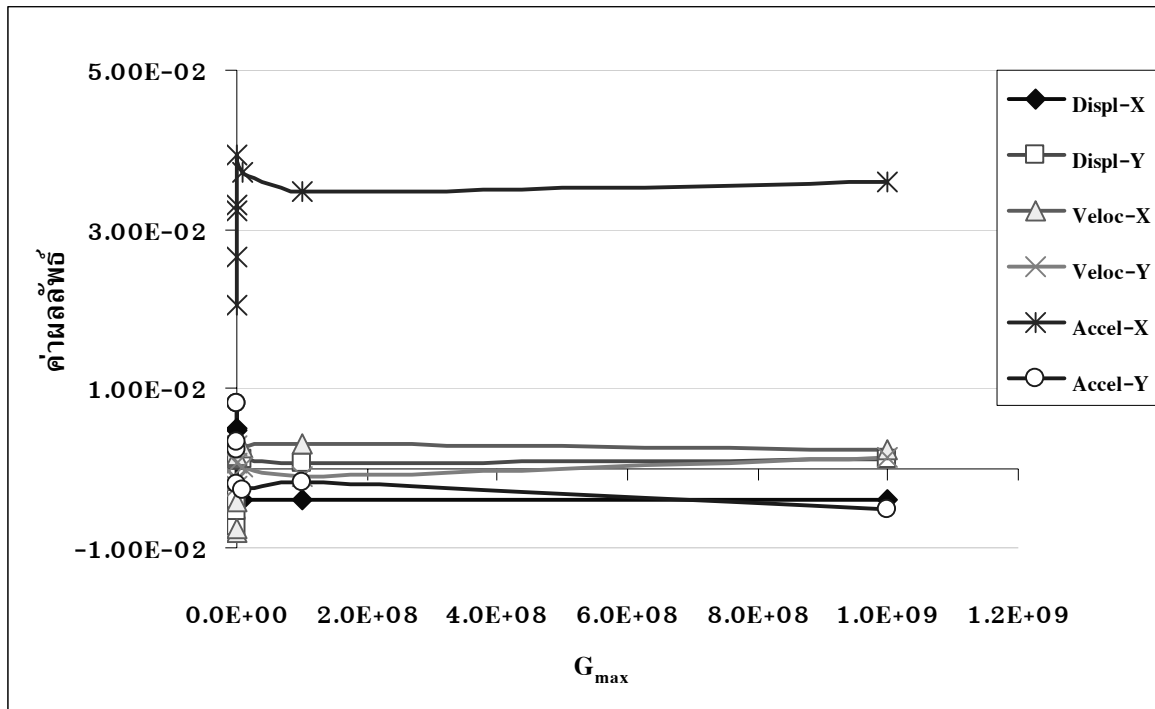
รูปที่ 10-10 คลื่นแผ่นดินไหว Jiashi Earthquake

การรายงานผลได้นำเวลาสุดท้ายของการวิเคราะห์ในหนึ่ง NODE มานำเสนอ ดังแสดง
ในรูปที่ 10-11 ถึง 10-14 โดยแยกการนำเสนอออกเป็นสองรูปภาพในแต่ละค่าของคุณสมบัติของวัสดุ
การทดสอบแยกผลลัพธ์ออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นพฤติกรรมการตอบสนองจากแรงพลศาสตร์
ได้แก่ Displacement X, Displacement Y, Velocity X, Velocity Y, Acceleration X, Acceleration Y,
Average Acceleration, Average Velocity และ Displacement

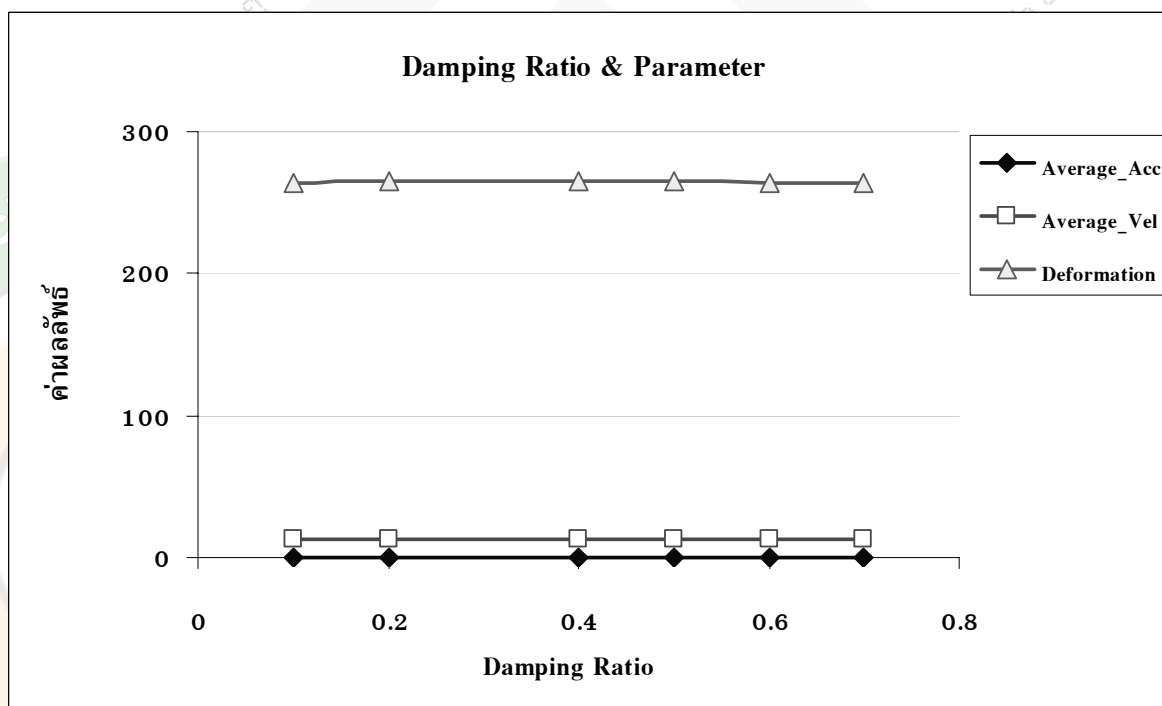
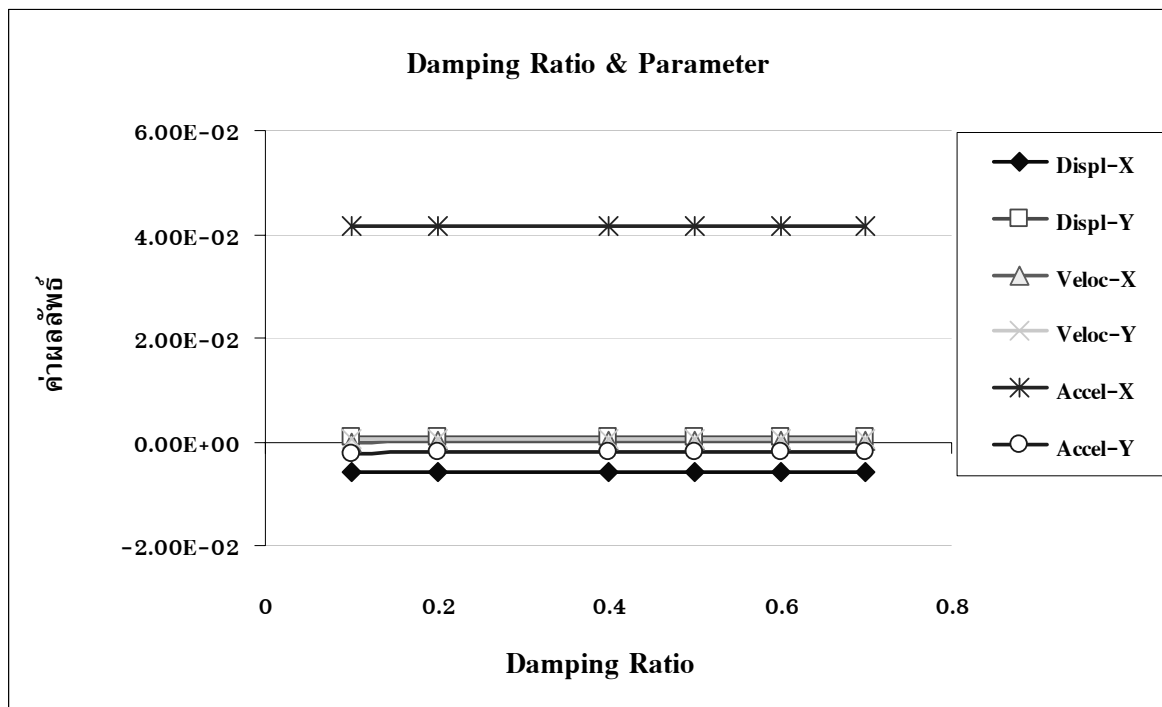
การทดสอบส่วนที่สองเป็นการทดสอบตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ Stability ดังแสดง
ในรูปที่ 10-15 ถึง 10-17 ได้แก่ ค่าหน่วยน้ำหนัก, ค่ามุมเสียดทาน และ ค่า Cohesion โดยทดสอบ
ตัวแปรผลลัพธ์ได้แก่ Average Acceleration, Average Velocity, Displacement และค่า Yield
Acceleration



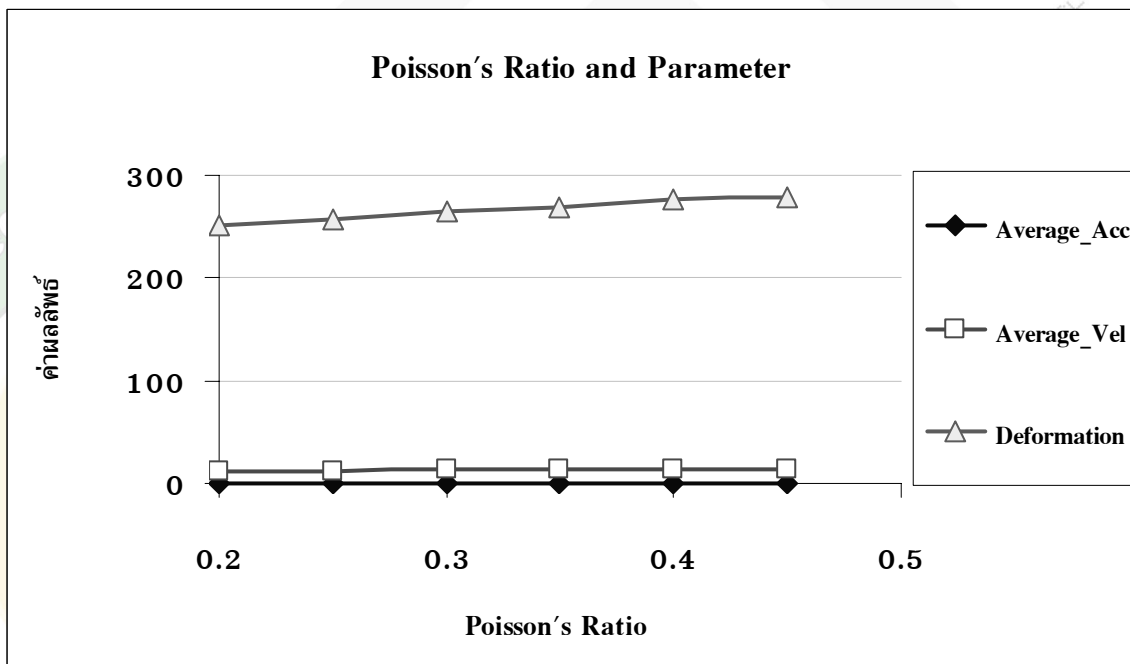
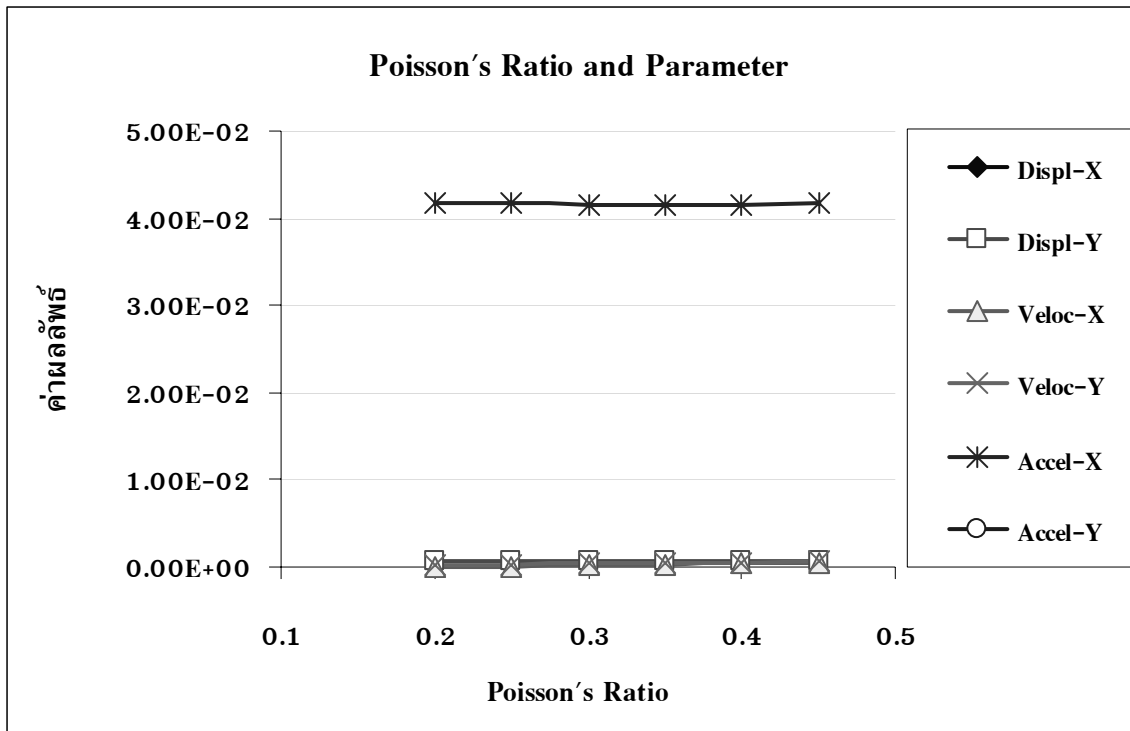
รูปที่ 10-11 ลักษณะความอ่อนไหวของ exponential (n) ต่อพฤติกรรม
การตอบสนองคลื่นพลศาสตร์



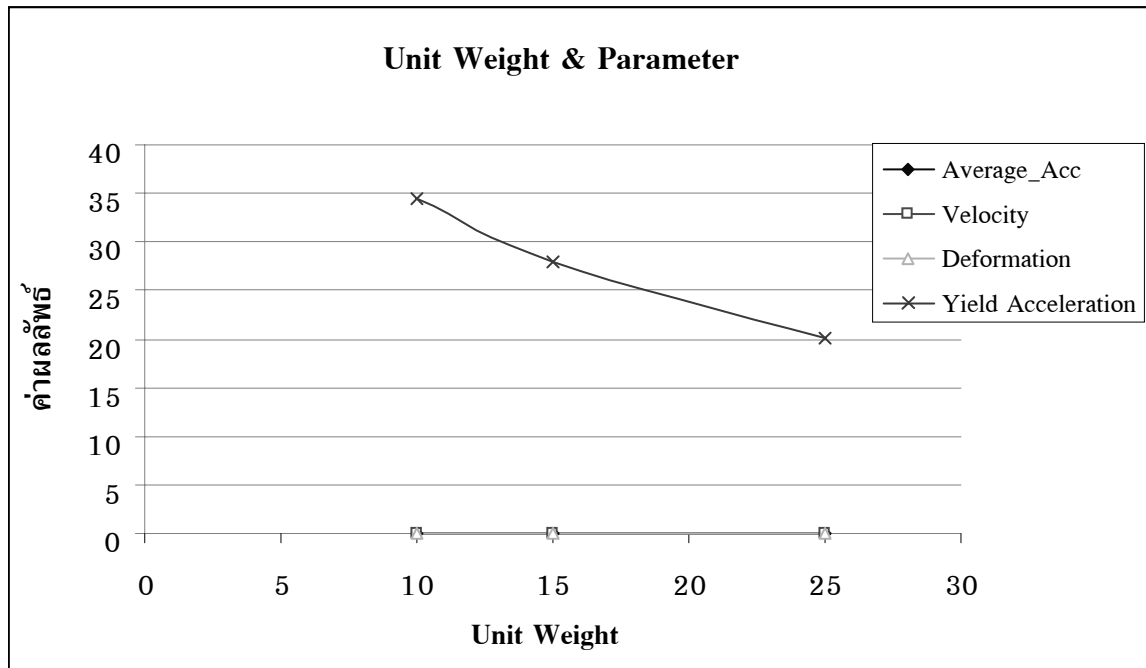
รูปที่ 10-12 ลักษณะอ่อนไหวของ G_{max} ต่อพฤติกรรมตอบสนองคลื่นพลศาสตร์



รูปที่ 10-13 ลักษณะความอ่อนไหวของ Damping Ratio
ต่อพฤติกรรมตอบสนองของคลื่นพลศาสตร์

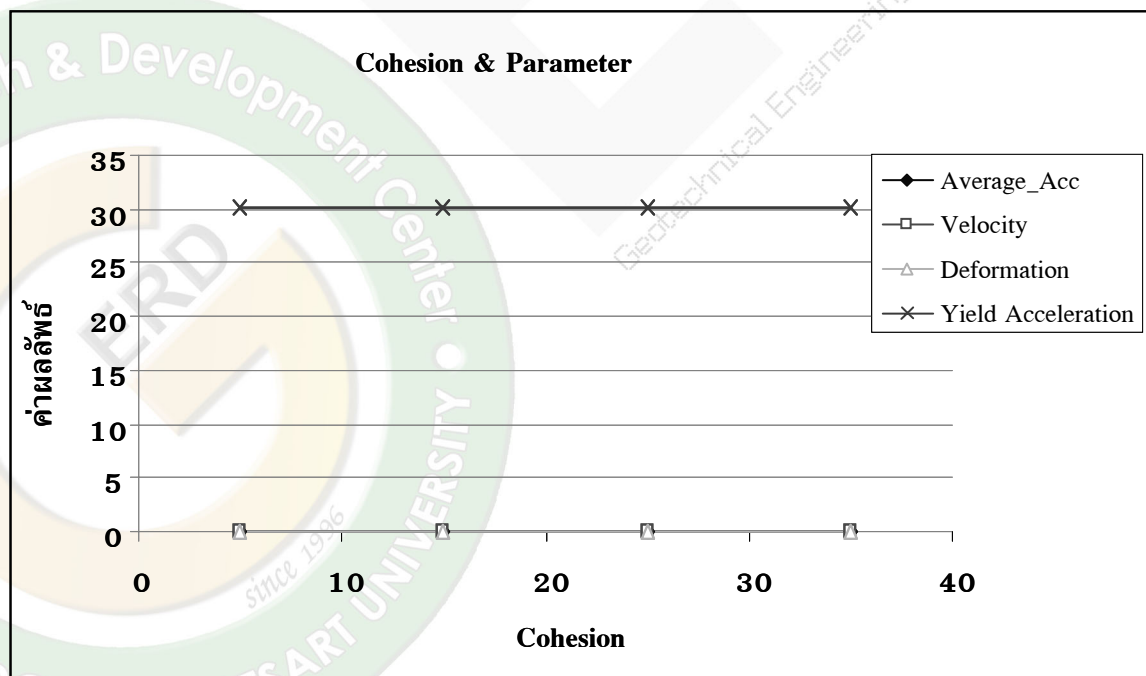


รูปที่ 10-14 ลักษณะความอ่อนไหวของ Poisson's Ratio
ต่อพฤติกรรมตอบสนองของคลื่นพลศาสตร์



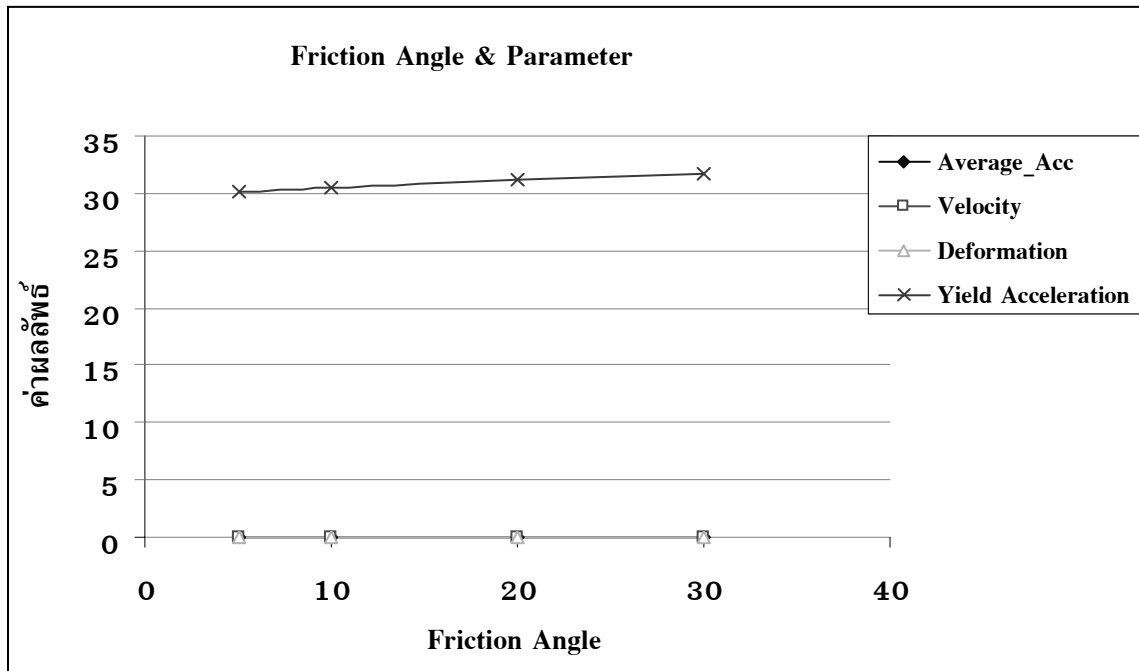
รูปที่ 10-15 ลักษณะความอ่อนไหวของ Unit Weight

ต่อพฤติกรรมการณ์เคลื่อนตัวภายใต้แรงพลศาสตร์



รูปที่ 10-16 ลักษณะความอ่อนไหวของ Cohesion

ต่อพฤติกรรมการณ์เคลื่อนตัวภายใต้แรงพลศาสตร์



รูปที่ 10-17 ลักษณะความอ่อนไหวของ Friction Angle

ต่อพฤติกรรมการณ์เคลื่อนตัวภายใต้แรงพลศาสตร์

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าสามารถแบ่งคุณสมบัติดินตามความอ่อนไหวของตัวแปรได้เป็นสองประเภทคือ คุณสมบัติดินที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง และ คุณสมบัติดินที่ไม่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง โดยคุณสมบัติที่ไม่มีอิทธิพลต่อแบบจำลอง ได้แก่ Damping ratios และ Cohesions ส่วนคุณสมบัติดินที่น่าจะมีผลต่อแบบจำลองได้แก่ ค่า G_{max} , ค่า Exponential (n), ค่า Poisson's Ratio, ค่าหน่วยน้ำหนัก, และ ค่ามุมของแรงเสียดทาน

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้สมมุติให้ชั้นวัสดุแต่ละชั้นมีคุณสมบัติเหมือนกันเสมือนเขื่อนเป็นชั้นเดียว ค่า Exponential(n) สามารถตัดออกได้ถ้าแบ่งชั้นของเขื่อนให้เหมาะสม เนื่องจากค่านี้เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับค่าความเค้นเฉื่อย (σ'_m) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าหน่วยน้ำหนักเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อแบบจำลอง อย่างไรก็ตามค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าความเบี่ยงเบนน้อย ดังนั้นค่านี้สามารถตัดออกได้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า คุณสมบัติของดินที่มีผลต่อแบบจำลองได้แก่ ค่า G_{max} , ค่า Poisson's Ratio และค่ามุมของแรงเสียดทาน

10.5 ความแปรปรวนและความน่าจะเป็นของผลลัพธ์

ผลลัพธ์สำคัญของการวิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อน SNR ต่อแรงกระทำแผ่นดินไหวได้แก่ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันและค่าการทรุดตัวของเขื่อนจากแรงพลศาสตร์ ดังนั้นจึง

ได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ดังกล่าว โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ First Order Second Moment (FOSM) และวิธี Monte Carlo Simulation

Christian, Ladd, and Baecher (1994) U.S. Army Corps of Engineer (1997 and 1998) และ Duncan (2000) ได้ใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นของการพิบัติของโครงสร้างต่างๆ ทางวิศวกรรมปฐพี Soralump (2002) ได้นำวิธีนี้มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการพิบัติของเขื่อนในรูปแบบต่างๆ ที่เกิดจากการกระทำของแผ่นดินไหว หลักการของวิธี First Order Second Moment สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชัน และความน่าจะเป็นของการพิบัติของลาดชัน สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$FS = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + e \quad \text{---(10.1)}$$

FS = อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชัน

$g()$ = รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อหา FS เช่น Simplified Bishop's

x_i = ตัวแปรที่มีความแปรปรวนเช่น C และ ϕ

e = ความคลาดเคลื่อนของรูปแบบการวิเคราะห์ (Model Error)

ในการวิเคราะห์ปกติ ค่าต่างๆ ของตัวแปรจะใช้ค่าเพียงค่าเดียว โดยใช้ค่าจากการวิเคราะห์ข้อมูลและประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ ผลลัพธ์ที่ได้จะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพียงค่าเดียวเช่นเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือการหา Expected Value ของผลลัพธ์โดยใช้ Expected Value ของตัวแปร

$$E[FS] = g(E[x_1], E[x_2], E[x_3], \dots, E[x_n]) \quad \text{--- (10.2)}$$

ความแปรปรวนของผลลัพธ์หรืออัตราส่วนความปลอดภัย สามารถประมาณได้ด้วยเทอมแรกของ Taylor's Series ดังต่อไปนี้

$$V[FS] \approx \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{\partial g}{\partial x_i} \frac{\partial g}{\partial x_j} C[x_i, x_j] + V[e] \quad \text{---(10.3)}$$

จากสมการข้างต้นเราสามารถหาความแปรปรวนของอัตราส่วนความปลอดภัยได้อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวไม่เหมาะสมและไม่ชักจูงให้ใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงได้มีการตั้งสมมุติฐานและข้อกำหนดขึ้นโดย U.S. Army Corps of Engineer (1997 and 1998) และได้พัฒนาการใช้ในรูปแบบต่างๆ โดย Duncan (2000) สมมุติฐานและข้อกำหนดต่างๆ ได้แก่

1. ไม่มีความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปร
2. สมการอนุพันธ์ (Derivative Equation) ทำการประมาณโดยใช้ Finite Difference (Christian, Ladd and Baecher, 1994)

3. การเพิ่มขึ้นและลดลงรอบค่า Expected Value ของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในสมการ จะเท่ากับค่า Standard Deviation ของตัวแปรนั้น ๆ

4. ค่าความแปรปรวนที่เป็นผลลัพธ์ เป็นค่าความแปรปรวนรวมของตัวแปรอัน ประกอบด้วย

ก. ความแปรปรวนจากความผิดพลาดทางสถิติ เช่น จำนวนข้อมูลมีน้อยเกินไป ทำให้เกิดความผิดพลาดในผลลัพธ์ทางสถิติ

ข. ความแปรปรวนจากความผิดพลาดจากการวัด

5. ค่าความแปรปรวนดังกล่าวไม่รวม

ก. ความแปรปรวนในเชิงตำแหน่ง (Spatial Variation)

ข. ความแปรปรวนจากแบบจำลอง (Model Error)

6. การกระจายตัวของค่าตัวแปร มีสมมุติฐานให้เป็นการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) การกระจายตัวของผลลัพธ์ สมมุติให้เป็นการกระจายตัวแบบปกติเช่นกัน เว้นแต่จะทราบ ลักษณะการกระจายตัวที่แน่นอน

จากสมมุติฐานดังกล่าว สมการที่ 2 จึงสามารถเปลี่ยนให้เป็นการกระจายตัวแบบปกติ ให้ง่ายขึ้น ดังต่อไปนี้

$$V[FS] \approx \sum_{i=1}^k \left[\frac{g(x_{i+}) - g(x_{i-})}{2\sigma_{x_i}} \right]^2 \sigma_{x_i}^2 \quad \text{--- (10.4)}$$

$$x_{i+} = E[x_i] + \sigma_{x_i}, x_{i-} = E[x_i] - \sigma_{x_i}$$

จากสมการข้างต้นผู้ออกแบบสามารถหาความแปรปรวนของผลลัพธ์ได้โดยง่าย หากทราบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_{x_i}) และค่าประมาณของตัวแปร ($E[x_i]$) หรือทราบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, COV) และ $E[x_i]$ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ได้แก่

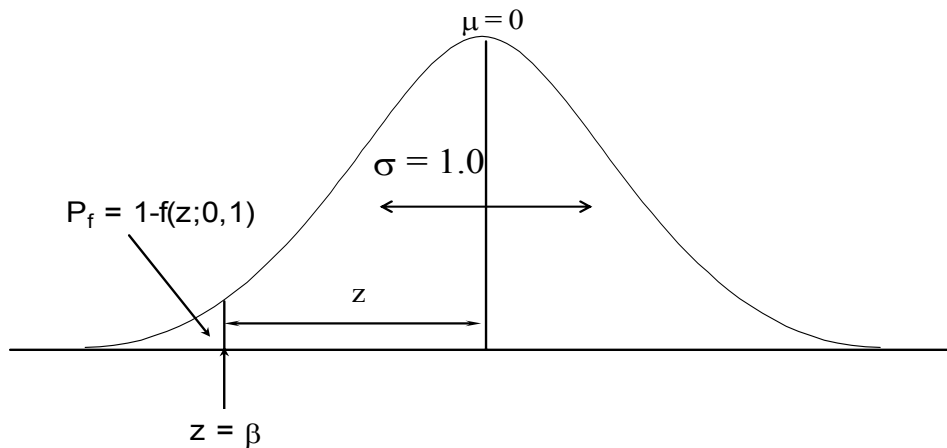
$$COV = \frac{\sigma(x_i)}{E(x_i)} \quad \text{--- (10.5)}$$

เพื่อให้การนำไปใช้งานง่ายขึ้น Soralump (2002) ได้ออกแบบรูปแบบตารางการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ทั่วไป ดังแสดงดังตารางที่ 10-6

ตารางที่ 10-6 ตารางการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการพังทลายด้วยวิธี SFOSM (Soralump, 2002)

Run	x_1	x_2	x_3	x_n	Performance Function, $g(x)$	Variance Component	% of Variance
$E[x]$	$E[x_1]$	$E[x_2]$	$E[x_3]$	$E[x_n]$	$E[\delta] = g(E[x_1], E[x_2], E[x_3], \dots, E[x_n])$		
2	$E[x_1] - \sigma_{x1}$	$E[x_2]$	$E[x_3]$	$E[x_n]$	$g(x_1) = g(E[x_1] - \sigma_{x1}, E[x_2], E[x_3], \dots, E[x_n])$	$\left[\frac{g(x_1) - g(x_{1-})}{2} \right]^2$	$\left[\frac{(\Delta g(x_1))^2}{2} \right] \times 100$
3	$E[x_1] + \sigma_{x1}$	$E[x_2]$	$E[x_3]$	$E[x_n]$	$g(x_{1+}) = g(E[x_1] + \sigma_{x1}, E[x_2], E[x_3], \dots, E[x_n])$		
4	$E[x_1]$	$E[x_2] - \sigma_{x2}$	$E[x_3]$	$E[x_n]$	$g(E[x_1], E[x_2] - \sigma_{x2}, E[x_3], \dots, E[x_n])$	$\left[\frac{g(x_2) - g(x_{2-})}{2} \right]^2$	$\left[\frac{(\Delta g(x_2))^2}{2} \right] \times 100$
5	$E[x_1]$	$E[x_2] + \sigma_{x2}$	$E[x_3]$	$E[x_n]$	$g(E[x_1], E[x_2] + \sigma_{x2}, E[x_3], \dots, E[x_n])$		
6	$E[x_1]$	$E[x_2]$	$E[x_3] - \sigma_{x3}$	$E[x_n]$	$g(x_{3-})$	$\left[\frac{\Delta g(x_3)}{2} \right]^2$	$\left[\frac{(\Delta g(x_3))^2}{2} \right] \times 100$
7	$E[x_1]$	$E[x_2]$	$E[x_3] + \sigma_{x3}$	$E[x_n]$	$g(x_{3+})$		
n	$E[x_1]$	$E[x_2]$	$E[x_3]$	$E[x_n] - \sigma_{xn}$	$g(E[x_1], E[x_2], E[x_3], \dots, E[x_n] - \sigma_{xn})$		
$n+1$	$E[x_1]$	$E[x_2]$	$E[x_3]$	$E[x_n] + \sigma_{xn}$	$g(E[x_1], E[x_2], E[x_3], \dots, E[x_n] + \sigma_{xn})$	$\left[\frac{g(x_{n+}) - g(x_{n-})}{2} \right]^2$	$\left[\frac{(\Delta g(x_n))^2}{2} \right] \times 100$
					SUM	$V[\delta] \approx \sum_{i=1}^k \left[\frac{\Delta g(x_i)}{2} \right]^2$	100%

เมื่อทราบค่า Expected Value และค่าความแปรปรวนของผลลัพธ์แล้ว เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นในกรณีต่างๆ ได้ สำหรับในกรณีของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน ความน่าจะเป็นของการพิบัติคือพื้นที่ใต้โค้งการกระจายตัวมาตรฐานของ \log ของอัตราส่วนความปลอดภัยที่มีค่าน้อยกว่า 1.0 ทั้งนี้เนื่องจากเรากำหนดให้การพิบัติเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่า 1.0 ดังแสดงในรูปที่ 10-18 แสดงการกำหนดความน่าจะเป็นของการพิบัติ



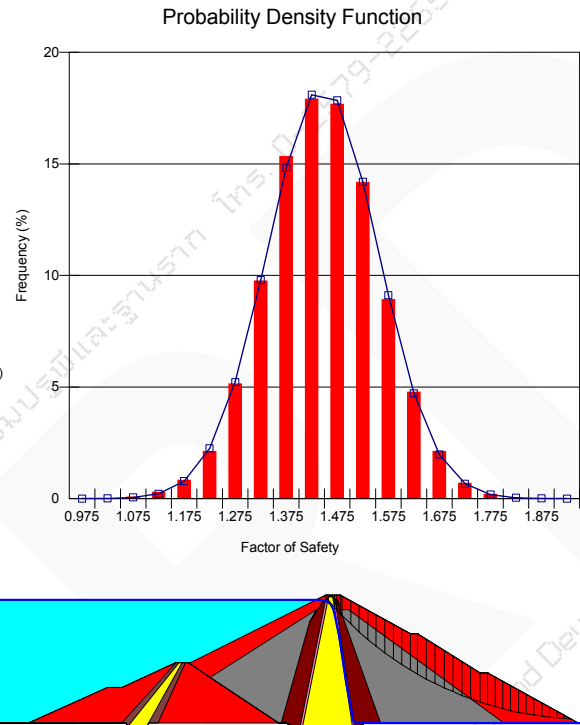
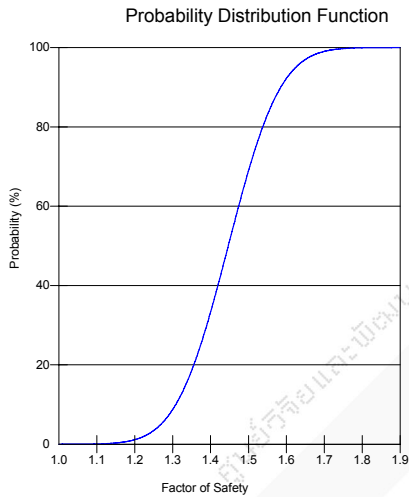
รูปที่ 10-18 การกำหนดความน่าจะเป็นของการพิบัติ

การวิเคราะห์ Slope Stability ในสถานะสถิตโดยวิธี Monte Carlo Simulation ดำเนินการโดยใช้วิธีความแปรปรวนของคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงของดินมีค่า $COV=12\%$ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 10-19 และ 10-20 ซึ่งพบว่าโอกาสในการพิบัติของเขื่อนในสถานะสถิตย์มีค่าน้อยมากในกรณีของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ ($P_f=0.00162\%$) และไม่มีโอกาสในการพิบัติเลยในกรณีของลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ($P_f=0.0\%$) เมื่อพิจารณาระดับน้ำที่ระดับกักเก็บปกติ

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทรุดตัวของเขื่อนเนื่องจากแรงกระทำแผ่นดินไหว ซึ่งประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ Slope Stability และ Newmark's Deformation ได้ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Simplified First Order Second Mement (SFOSM) ดังแสดงในตารางที่ 10-7 และ 10-8 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้พิจารณาความแปรปรวนของคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงของดินเป็นหลัก โดยใช้ค่า $COV=12\%$ เช่นเดียวกัน ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าการทรุดตัวของสันเขื่อนจากแรงกระทำแผ่นดินไหวที่ก่อให้เกิดการทรุดตัวสูงสุด ($PGA=1.0g$) มีความแปรปรวนอยู่ในช่วงระดับความรุนแรงเต็ม ดังแสดงลักษณะการกระจายตัวของการทรุดตัวในรูปที่ 10-21 ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของผลลัพธ์ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์การพิบัติจากการเกิดน้ำล้นสันเขื่อน โดยมีโอกาสของการทรุดตัวต่ำกว่าสันเขื่อนเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อรวมความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดความเร่งที่ฐานเขื่อนเท่ากับ $1.0g$ จะทำให้ความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวลดต่ำลงอีก

Monte Carlo Simulation

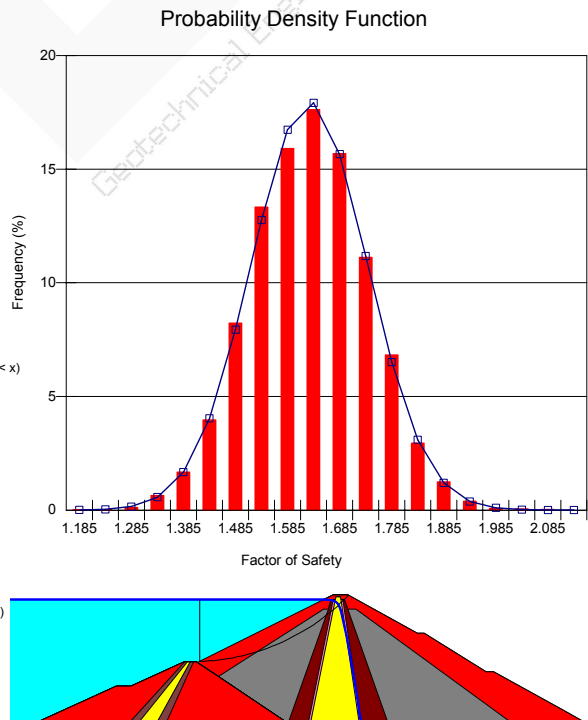
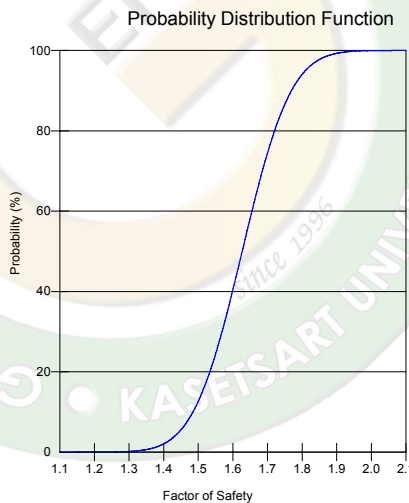
Mean F of S	1.4466
Reliability Index	4.152
P (Failure) (%)	0.001620
Standard Dev.	0.108
Min F of S	1.0437
Max F of S	1.8905
# of Trials	10000



รูปที่ 10-19 ความแปรปรวนของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันเขื่อน
ด้านท้ายน้ำในสถานะสถิตย์

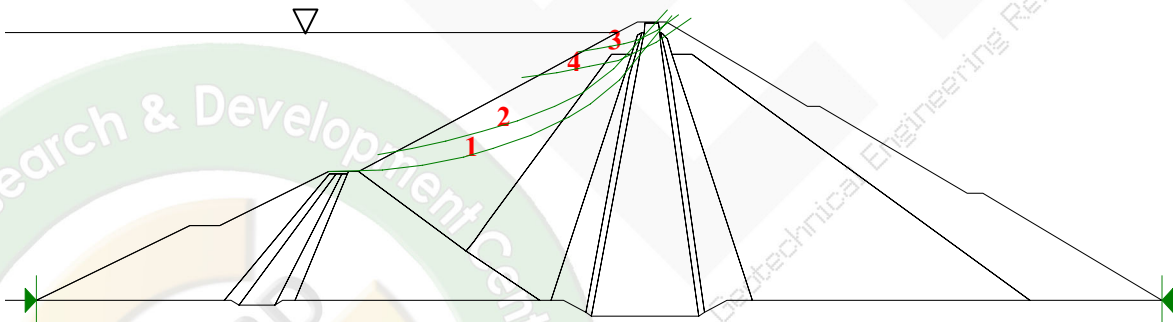
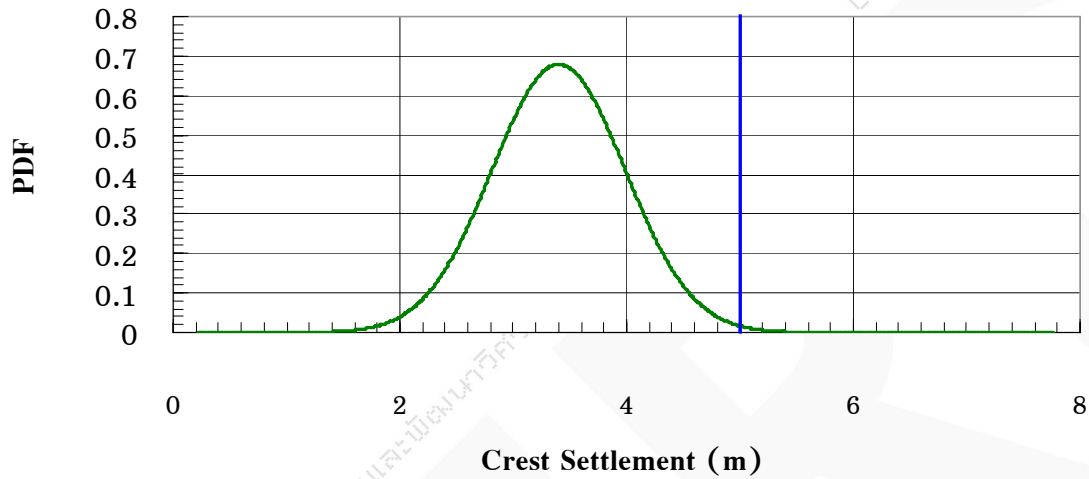
Monte Carlo Simulation

Mean F of S	1.6268
Reliability Index	5.637
P (Failure) (%)	0.000000
Standard Dev.	0.111
Min F of S	1.1638
Max F of S	2.0909
# of Trials	10000



รูปที่ 10-20 ความแปรปรวนของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันเขื่อน
ด้านเหนือน้ำในสถานะสถิตย์

Variation of Crest Settlement from San Fernando Earthquake motion
(9km, PGA=1.0g) applied at base of SNR dam, slip#3

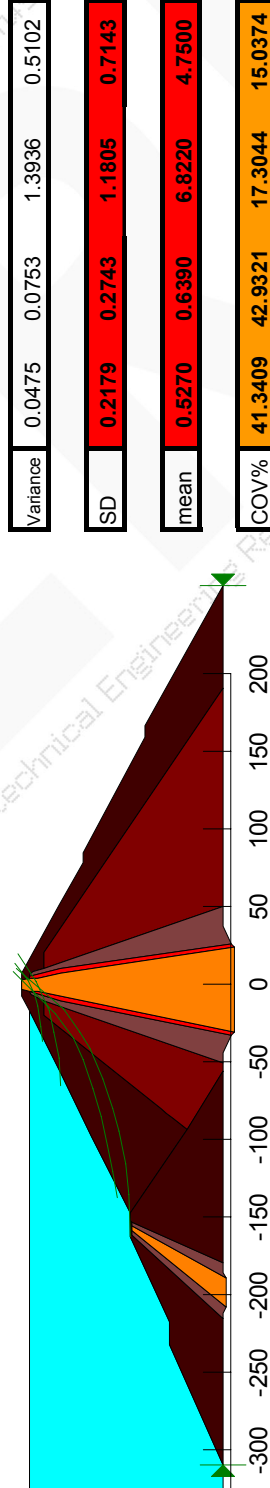


รูปที่ 10-21 ความแปรปรวนของค่าการทรุดตัวของสันเขื่อน จากแรงกระทำแผ่นดินไหว

ตารางที่ 10-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเคลื่อนตัวตามแนวการรับน้ำหนักแรงกระทำแผ่นดินไหว

Probabilistic analysis of Seismic Deformation(downslope), Sanfermando Earthquake, epicentral distance = 9km, 6.4 Mw. Applied at base of Srinakarin Dam

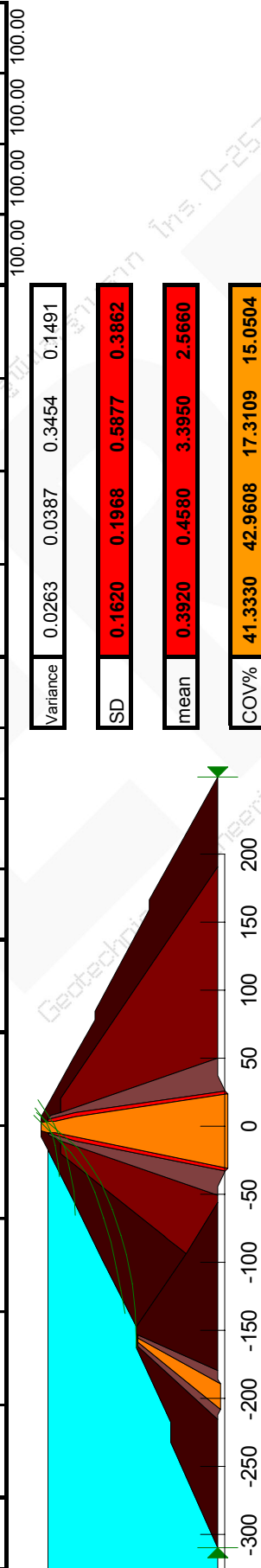
Run#	Large Rockfill		Small Rockfill		Transition		Filter		Clay core			Def Slip#				Variance Def Slip#				% Variance Def Slip#			
	phi	C	phi	C	phi	C	phi	C	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
mean	39	40	33	40	35	40	35	40	0.527	0.639	6.822	4.750	4.45E-02	7.32E-02	1.35E+00	4.54E-01	93.80	97.22	96.72	89.04			
2	43.68								0.376	0.431	5.684	4.080											
3	34.32								0.798	0.972	8.006	5.428											
4			36.96						0.482	0.594	6.822	4.547	2.86E-03	1.98E-03	0.00E+00	3.94E-02	6.03	2.63	0.00	7.72			
5			29.04						0.589	0.683	6.822	4.944											
6					39.2				0.522	0.633	6.743	4.682	2.03E-05	3.03E-05	5.55E-03	4.22E-03	0.04	0.04	0.40	0.83			
7					30.8				0.531	0.644	6.892	4.812											
8							39.2		0.523	0.635	6.765	4.692	1.23E-05	1.23E-05	2.86E-03	3.08E-03	0.03	0.02	0.21	0.60			
9							30.8		0.530	0.642	6.872	4.803											
10								19.04	0.522	0.634	6.702	4.678	2.50E-05	2.50E-05	1.42E-02	5.11E-03	0.05	0.03	1.02	1.00			
11								14.96	0.532	0.644	6.940	4.821											
12									0.522	0.633	6.671	4.686	2.50E-05	4.23E-05	2.31E-02	4.10E-03	0.05	0.06	1.66	0.80			
13									0.532	0.646	6.975	4.814											



ตารางที่ 10-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทรุดตัวในแนวตั้งของสันเขื่อน จากแรงกระทำแผ่นดินไหว

Probabilistic analysis of Seismic Deformation(crest settlement), Sanferando Earthquake, epicentral distance = 9km, 6.4 Mw, Applied at base of Srinakarin Dam

Run#	Large Rockfill		Small Rockfill		Transition		Filter		Clay core		Def Slip#				Variance Def Slip#				% Variance Def Slip#							
	phi	39	phi	33	phi	35	phi	35	phi	17	C	40	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
mean													0.392	0.458	3.395	2.566										
2	43.68												0.280	0.309	2.829	2.204	2.46E-02	3.76E-02	3.34E-01	1.33E-01	93.89	97.21	96.72	89.08		
3	34.32												0.594	0.697	3.985	2.933										
4				36.96									0.359	0.426	3.395	2.457	1.56E-03	1.02E-03	0.00E+00	1.14E-02	5.94	2.64	0.00	7.68		
5				29.04									0.438	0.490	3.395	2.671										
6													0.389	0.454	3.356	2.530	1.23E-05	1.60E-05	1.37E-03	1.23E-03	0.05	0.04	0.40	0.82		
7													0.396	0.462	3.430	2.600										
8													0.390	0.456	3.367	2.535	6.25E-06	6.25E-06	7.02E-04	9.00E-04	0.02	0.02	0.20	0.60		
9													0.395	0.461	3.420	2.595										
10													0.389	0.455	3.335	2.527	1.23E-05	1.23E-05	3.54E-03	1.52E-03	0.05	0.03	1.02	1.02		
11													0.396	0.462	3.454	2.605										
12													0.389	0.454	3.320	2.532	1.23E-05	2.03E-05	5.70E-03	1.19E-03	0.05	0.05	1.65	0.80		
13													0.396	0.463	3.471	2.601										



Variance	0.0263	0.0387	0.3454	0.1491
SD	0.1620	0.1968	0.5877	0.3862
mean	0.3920	0.4580	3.3950	2.5660
COV%	41.3330	42.9608	17.3109	15.0504